

学校编码: 10384

密级\_\_\_\_

学号: 22620061152367

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

**pH 和  $p\text{CO}_2$  微电极的研制及其在测量  
湿地沉积物中的应用**

**Development of pH and  $p\text{CO}_2$  Microelectrodes for  
Measuring Wetland Sediments**

张丽平

指导教师姓名: 许昆明 副教授

专 业 名 称: 环境科学

论文提交日期: 2009 年 7 月

论文答辩日期: 2009 年 8 月

2009 年 8 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为(许昆明)课题(组)的研究成果,获得(国家自然科学基金面上项目“应用多种微电极技术研究近岸沉积物溶解氧、锰、铁和硫的还原梯度及其指示的有机碳氧化分解状况”)课题(组)经费或实验室的资助,在(海洋微电极)实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

## 目 录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 摘要 .....                         | I  |
| Abstract .....                   | II |
| 第 1 章 绪论 .....                   | 1  |
| 1.1 pH 值的测量 .....                | 1  |
| 1.1.1 pH 值的定义、标度和测量方法 .....      | 1  |
| 1.1.2 常用 pH 电极 .....             | 2  |
| 1.1.3 金属/金属氧化物 pH 电极 .....       | 3  |
| 1.1.4 W、Ir 氧化物 pH 电极研究进展 .....   | 3  |
| 1.2 参比电极 .....                   | 4  |
| 1.2.1 甘汞电极 .....                 | 5  |
| 1.2.2 Ag/AgCl 电极 .....           | 5  |
| 1.3 $p\text{CO}_2$ 的测量 .....     | 5  |
| 1.4 微电极在沉积物研究中的应用 .....          | 6  |
| 1.4.1 电位型微电极 .....               | 7  |
| 1.4.1.1 pH 微电极 .....             | 8  |
| 1.4.1.2 $p\text{CO}_2$ 微电极 ..... | 8  |
| 1.4.1.3 硫化物微电极 .....             | 9  |
| 1.4.2 伏安微电极 .....                | 10 |
| 1.4.3 极谱微电极 .....                | 11 |
| 1.5 湿地沉积物的研究 .....               | 12 |
| 1.6 本论文研究目标 .....                | 13 |
| 参考文献 .....                       | 14 |
| 第 2 章 金属氧化物 pH 微电极的制备及其表征 .....  | 19 |
| 2.1 实验方法 .....                   | 19 |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.1.1 材料、仪器和试剂.....                                 | 19        |
| 2.1.2 pH 微电极的制作.....                                | 19        |
| 2.1.3 三电极体系.....                                    | 20        |
| 2.1.4 高温碳酸盐法氧化金属的原理.....                            | 21        |
| 2.1.5 金属氧化物 pH 微电极的响应机制.....                        | 22        |
| <b>2.2 结果与讨论</b> .....                              | <b>23</b> |
| 2.2.1 电极性能表征.....                                   | 23        |
| 2.2.1.1 响应时间.....                                   | 23        |
| 2.2.1.2 电极对不同 pH 缓冲溶液的响应.....                       | 24        |
| 2.2.1.3 电极响应范围.....                                 | 24        |
| 2.2.1.4 电极长时间工作的稳定性.....                            | 27        |
| 2.2.2 制作条件的影响.....                                  | 28        |
| 2.2.2.1 氧化温度.....                                   | 28        |
| 2.2.2.2 熔融介质.....                                   | 28        |
| 2.2.2.3 陈化作用.....                                   | 30        |
| 2.2.3 环境因素的影响.....                                  | 31        |
| 2.2.3.1 盐度.....                                     | 31        |
| 2.2.3.2 氧气浓度.....                                   | 31        |
| 2.2.3.3 Nafion 修饰与还原离子.....                         | 32        |
| <b>2.3 pH 微电极在厦门西港沉积物测量中的初步应用</b> .....             | <b>34</b> |
| 2.3.1 沉积物间隙水 pH 的微电极测定.....                         | 34        |
| 2.3.2 结果与讨论.....                                    | 35        |
| 参考文献.....   | 37        |
| <b>第 3 章 <math>p\text{CO}_2</math> 微电极的制备</b> ..... | <b>38</b> |
| <b>3.1 Ag/AgCl 参比电极的制备</b> .....                    | <b>38</b> |
| 3.1.1 实验部分.....                                     | 38        |
| 3.1.1.1 材料、仪器与试剂.....                               | 38        |
| 3.1.1.2 Ag/AgCl 参比电极制备步骤.....                       | 38        |
| 3.1.2 结果与讨论.....                                    | 39        |

|  |    |
|--|----|
| <b>3.2 <math>p\text{CO}_2</math> 微电极的制备</b>              | 41 |
| 3.2.1 实验部分   | 41 |
| 3.2.1.1 材料、仪器与试剂   | 41 |
| 3.2.1.2 $p\text{CO}_2$ 微电极制备                             | 42 |
| 3.2.2 $p\text{CO}_2$ 微电极工作原理                             | 43 |
| 3.2.3 测试方法   | 44 |
| 3.2.4 结果与讨论  | 44 |
| 3.2.4.1 电极响应时间   | 44 |
| 3.2.4.2 电极标准工作曲线   | 46 |
| 3.2.4.3 电极稳定性及寿命   | 47 |
| <b>3.3 <math>p\text{CO}_2</math> 微在沉积物测量中的初步应用</b>       | 49 |
| 参考文献   | 50 |
| <b>第 4 章 湿地沉积物间隙水的 pH 与 <math>p\text{CO}_2</math> 测量</b> | 51 |
| 4.1 湿地   | 51 |
| 4.2 研究区域概况   | 52 |
| 4.2.1 厦门五缘湾湿地  | 52 |
| 4.2.2 红树林湿地  | 54 |
| 4.3 采样与实验方法  | 56 |
| 4.4 结果与讨论  | 56 |
| 4.4.1 五缘湾湿地  | 58 |
| 4.4.2 红树林湿地  | 59 |
| 4.4.2.1 九龙江口红树林  | 59 |
| 4.4.2.2 漳江口红树林   | 62 |
| 参考文献   | 68 |
| <b>第 5 章 总结与展望</b>                                       | 70 |
| 5.1 结论   | 70 |
| 5.2 展望   | 70 |

|                     |    |
|---------------------|----|
| 攻读硕士学位期间发表的论文 ..... | 72 |
| 致谢 .....            | 73 |

厦门大学博硕士论文摘要库

## Contents

|   |    |
|---|----|
| <b>Abstract(in Chinese)</b> .....   | I  |
| <b>Abstract(in English)</b> .....   | II |
| <b>Chapter 1 Introduction</b> .....   | 1  |
| <b>1.1 pH measurement</b> .....   | 1  |
| 1.1.1 The definition, scale and measurement of pH .....                                       | 1  |
| 1.1.2 Common pH electrodes .....  | 2  |
| 1.1.3 Metal oxide pH electrodes .....   | 3  |
| 1.1.4 Progress of W, Ir oxide pH electrode studies .....                                      | 3  |
| <b>1.2 Reference electrodes</b> .....   | 4  |
| 1.2.1 Calomel electrodes .....  | 5  |
| 1.2.2 Ag/AgCl electrodes .....  | 5  |
| <b>1.3 <math>p\text{CO}_2</math> measurement</b> .....  | 5  |
| <b>1.4 The application of microelectrode technique in sediments</b> .....                     | 6  |
| 1.4.1 Potentionmetric microelectrodes .....   | 7  |
| 1.4.1.1 pH microelectrodes .....  | 8  |
| 1.4.1.2 $p\text{CO}_2$ microelectrodes .....  | 8  |
| 1.4.1.3 sulfidemicroelectrodes .....  | 9  |
| 1.4.2 Voltammetric microelectrodes .....  | 10 |
| 1.4.3 Polarographic microelectrodes .....   | 11 |
| <b>1.5 Researches on wetland sediments</b> .....  | 12 |
| <b>1.6 Objectives of this thesis</b> .....  | 13 |
| <b>References</b> .....   | 14 |
| <b>Chapter 2 Preparation and characterization of metal oxide pH<br/>microelectrodes</b> ..... | 19 |
| <b>2.1 Experiments</b> .....  | 19 |



|  |           |
|--|-----------|
| 2.1.1 Materials, instruments and reagents.....                                     | 19        |
| 2.1.2 Construction of pH microelectrodes .....                                     | 19        |
| 2.1.3 Three-electrode system .....   | 20        |
| 2.1.4 The principle of metal oxidation in carbonate molten at high temperture...21 |           |
| 2.1.5 The response mechanism of metal oxide pH electrodes .....                    | 22        |
| <b>2.2 Results and discussion .....</b>  | <b>23</b> |
| 2.2.1 Electrode characterization .....   | 23        |
| 2.2.1.1 Response time.....   | 23        |
| 2.2.1.2 Response of the microelectrode to pH buffer solutions .....                | 24        |
| 2.2.1.3 Response range.....  | 24        |
| 2.2.1.4 Long time working stablity of the microelectrode .....                     | 27        |
| 2.2.2 The influence of preparation conditions .....                                | 28        |
| 2.2.2.1 Oxidation temperature .....  | 28        |
| 2.2.2.2 Molten media.....  | 28        |
| 2.2.2.3 Aging .....  | 30        |
| 2.2.3 The impact of environmental factors .....                                    | 31        |
| 2.2.3.1 Salinity.....  | 31        |
| 2.2.3.2 Oxygen concentration.....  | 31        |
| 2.2.3.3 Nafion coating and reduced ions .....                                      | 32        |
| <b>2.3 The pH measurements of marine sediments in Xiamen Western Bay.....</b>      | <b>34</b> |
| 2.3.1 The pH microelectrode measurements in sediments porewater .....              | 34        |
| 2.3.2 Results and discussion .....   | 35        |
| <b>References .....</b>  | <b>37</b> |
| <b>Chapter 3 The construction of <math>p\text{CO}_2</math> microelectrode.....</b> | <b>38</b> |
| <b>3.1 The construction of Ag/AgCl reference electrode.....</b>                    | <b>38</b> |
| 3.1.1 Experiments .....  | 38        |
| 3.1.1.1 Materials, instruments and reagents .....                                  | 38        |
| 3.1.1.2 Preparation procedure of Ag/AgCl reference electrode .....                 | 38        |
| 3.1.2 Results and discussion .....   | 39        |

|   |    |
|---|----|
| <b>3.2 The construction of <math>p\text{CO}_2</math> microelectrode</b>                         | 41 |
| 3.2.1 Experiments   | 41 |
| 3.2.1.1 Materials, instruments and reagents   | 41 |
| 3.2.1.2 Preparation procedure of $p\text{CO}_2$ microelectrode                                  | 42 |
| 3.2.2 The working principle of $p\text{CO}_2$ microelectrode                                    | 43 |
| 3.2.3 Measurement method  | 44 |
| 3.2.4 Results and discussion  | 44 |
| 3.2.4.1 Electrode response time   | 44 |
| 3.2.4.2 Electrode standard working curve  | 46 |
| 3.2.4.3 Electrode stability and life time   | 47 |
| <b>3.3 The application of <math>p\text{CO}_2</math> microelectrode in sediment measurements</b> | 48 |
| <b>References</b>   | 50 |
| <br><b>Chapter 4 The measurements of pH and <math>p\text{CO}_2</math> in wetland sediments</b>  |    |
| <b>porewater</b>  | 51 |
| <b>4.1 Wetlands</b>   | 51 |
| <b>4.2 Overview of study areas</b>  | 52 |
| 4.2.1 Xiamen Wuyuanwan wetland  | 52 |
| 4.2.2 Mangrove wetlands   | 54 |
| <b>4.3 Samples collection and experimental methods</b>  | 56 |
| <b>4.4 Results and discussion</b>   | 56 |
| 4.4.1 Wuyuanwan wetland   | 58 |
| 4.4.2 Mangrove wetlands   | 59 |
| 4.4.2.1 Jiulong river estuary mangrove  | 59 |
| 4.4.2.2 Zhang river estuary mangrove  | 62 |
| <b>References</b>   | 68 |
| <br><b>Chapter 5 Conclusions and prospect</b>   | 70 |
| <b>5.1 Major conclusions</b>  | 70 |
| <b>5.2 Outlook</b>  | 70 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Manuscripts during master program study</b> ..... | 71 |
| <b>Acknowledgement</b> .....                         | 72 |

厦门大学博硕士论文摘要库

## 摘要

用改进的高温熔融碳酸盐法制备了铱和钨氧化物 pH 微电极,表征了金属氧化物电极的各项性能。所制备电极对 pH 有较好的线性响应,斜率在 40~60 mV/pH, 接近理想能斯特响应。实验表明铱氧化物微电极在长时间工作稳定性方面优于钨氧化物微电极,90 %响应时间为 5 s。铱氧化物微电极受盐度和氧气浓度影响很小,且经 Nafion 修饰后不受沉积物间隙水中还原性  $S^{2-}$  离子的影响。把铱氧化物微电极应用于测量厦门西海域和九龙江河口的沉积物 pH 垂直剖面,发现 pH 在沉积物有氧和无氧深度界面(4~5 mm)达到最小,2 cm 以深趋于稳定。

用电解氯化法制备了 Ag/AgCl 参比电极,与饱和甘汞电极的电势差  $44 \pm 1$  mV。联合铱氧化物 pH 微电极和 Ag/AgCl 参比电极制成  $pCO_2$  微电极,电极腔内填充液含 2 mmol/L  $NaHCO_3$  和 0.5 mol/L NaCl,并加入 0.5 mg/mL 碳酸脱水酶。所制备  $pCO_2$  微电极的 95 %响应时间约 120 s,标准工作曲线斜率 55~60 mV/log  $pCO_2$  ( $\mu atm$ ),电极电势的漂移小于 1 mV/h,电极放在空气中的工作寿命长达一个月以上。用  $pCO_2$  微电极测量在实验室培养的沉积物柱样,得到合理的  $pCO_2$  梯度剖面。

将研制的 pH 和  $pCO_2$  微电极应用于测量湿地沉积物间隙水,研究淡水湿地沉积物与红树林湿地沉积物的差异。在厦门五缘湾湿地、九龙江口红树林湿地和漳江口红树林湿地采集多个沉积物柱状样及水样。用微电极测量沉积物柱样,结果表明沉积物间隙水的 pH 与  $pCO_2$  剖面基本成镜像关系,pH 增大时  $pCO_2$  减小,反之亦然,且均在上层 0~2 cm 变化剧烈。红树林湿地沉积物间隙水上层 1 cm 的 pH 约 7.3,下层上升到约 7.5,明显低于五缘湾淡水湿地(约 8.0)。红树林湿地沉积物间隙水的  $pCO_2$  约  $10^4 \mu atm$ ,远高于五缘湾淡水湿地的  $10^3 \mu atm$ 。这种现象与红树林土壤是潜在的酸性硫酸盐土有关,细菌的厌氧分解产生还原性硫化物,造成 pH 下降,  $pCO_2$  增大。

**关键词:** 铱; pH 微电极;  $pCO_2$  微电极; 沉积物; 红树林湿地

## Abstract

Iridium oxide and tungsten oxide pH microelectrodes were constructed by oxidizing metal wires in sodium carbonate or lithium carbonate molten at high temperature. Experiments were carried out to characterize their working performance. The microelectrodes showed good linear Eh response to pH in buffer solutions with a slope between 40 and 60 mV/pH, close to Nernst slope. Experimental results indicated that iridium oxide microelectrode had better performance than tungsten oxide microelectrode in long-time working stability. Iridium oxide microelectrode had a 90 % response time of about 5 s, shorter than that of tungsten oxide microelectrode. Iridium oxide microelectrode was little affected by oxygen concentration, salinity, and the reducing agent of  $S^{2-}$  ions in the pore water of sediments after being coated with a Nafion film. Iridium oxide microelectrodes were applied to measure pH profiles of sediment cores sampled from Xiamen western bay and Jiulong river estuary. It was found that pH reached minimum values at oxic-anoxic interface of 4~5 mm depths within the sediments and tended to be stable at depths deeper than 2 cm.

Ag/AgCl reference electrode was constructed by anodizing silver wire in HCl electrolyte. It had a potential of  $44 \pm 1$  mV versus saturated calomel electrode.  $pCO_2$  microelectrode was constructed by combining iridium oxide pH microelectrode with Ag/AgCl reference electrode. The shaft of the  $pCO_2$  microelectrode was filled with 2 mmol/L  $NaHCO_3$  and 0.5 mol/L NaCl electrolyte with addition of 0.5 mg/mL carbonic anhydrase. The  $pCO_2$  microelectrode had a 95 % response time of about 120 s. The slope of its standard working curve was 55~60 mV/log  $pCO_2$  ( $\mu atm$ ). The potential drift was less than 1 mV/h. When stored in the air, the microelectrode had a life time of over one month. The microelectrode was used to measure lab-incubated sediments and obtained a reasonable  $pCO_2$  profile.

Both pH and  $pCO_2$  microelectrodes were applied to measure the pore water of wetland sediments to study the differences between freshwater wetland sediments and mangrove wetland sediments. Several sediment cores were sampled from Xiamen

Wuyanwan wetland and from Jiulong river estuary and Zhang river estuary mangrove wetlands. The result of the microelectrode measurements indicated that the pH profiles and  $p\text{CO}_2$  profiles formed in mirror images. When pH increased,  $p\text{CO}_2$  decreased, and vice versa. The profiles always changed sharply in the top 0~2 cm sediments. The pH values of surface 1 cm sediments from mangrove wetlands were about 7.3; and the pH values at the bottom sediments increased up to 7.5. These values were significantly lower than those of Wuyanwan freshwater wetland sediments (about 8.0). Mangrove wetland sediments had  $p\text{CO}_2$  values of about  $10^4$   $\mu\text{atm}$ , much lower than those of Wuyanwan freshwater wetland sediments which were about  $10^3$   $\mu\text{atm}$ . The phenomena were related to the nature of acidic sulfate silt of mangrove wetlands where anoxic respiration of bacteria may produce reductive sulfide, lowering pH and raising  $p\text{CO}_2$  values.

**Key Words:** iridium; pH microelectrode;  $p\text{CO}_2$  microelectrode; sediment; mangrove wetland

## 第1章 绪论

本章概述pH和 $p\text{CO}_2$ 测量技术的发展,其中着重介绍了pH和 $p\text{CO}_2$ 微电极制作技术的发展及各种类型微电极在沉积物中的应用。从全球碳循环的角度说明湿地沉积物研究的重要性,从而引出本论文的研究目标,紧扣论文主题。

### 1.1 pH值的测量

pH值是水体最重要的物理化学参数之一。目前最广泛应用的pH测量是玻璃pH电极。而pH玻璃电极仅限于水溶液介质的pH测量。pH玻璃电极测量精度和准确度高,响应快,但同时也存在许多不足之处,如内阻高,易破损,酸碱误差,无法测定含F<sup>-</sup>溶液pH,难以微型化,使用前需活化,电极表面因亲水性而产生的吸附作用所导致的测量误差等。所以玻璃pH电极不适用于微环境和生物活体的原位及连续在线检测,也难以应用到恶劣腐蚀环境下。为了克服这些缺点,学者们进行了各种新的或特殊用途的pH传感器的研究、开发、应用及其机理的探讨。其中金属氧化物电极响应快,可微型化,机械强度高可适于半固态物质pH测量和超微环境分析,引起了广泛关注,成为研究的热点。

#### 1.1.1 pH值的定义、标度和测量方法

现行的溶液pH值定义是Sørensen在1924年提出的,即:

$$\text{pH} = -\log \alpha_{\text{H}^+} \quad (1.1)$$

实际上单独离子的活度无法测定,只能依赖测定方法来计算。由于pH是一种相对测量,它仅仅指示标准溶液与未知溶液之间的pH差别,因此为了达到量值的一致,必须建立pH标度。pH标度的量值由基准缓冲溶液的pH<sub>s</sub>值确定。根据pH定义,在0~14pH范围内即从酸性经过中性至碱性范围,相当于 $\alpha_{\text{H}^+}$ 从1 mol/L~ $10^{-14}$  mol/L,选择若干个pH缓冲溶液作为pH标度的固定点,并且采用当代技术能达到的最准确的方法测定它们的pH<sub>s</sub>值。

目前,国际上较常用的是由美国标准局(NBS) Bates等人所建立的pH标度,即NBS标度。NBS标度是一个使用电极法测量溶液pH值时,实际上是测量待测溶

液和缓冲溶液的电势差。假设未知溶液的pH值为pH<sub>x</sub>, 根据能斯特公式可以得到:

$$\text{pH}_x = \text{pH}_s + (\text{E}_x - \text{E}_s) / (2.303RT/F) \quad (1.2)$$

NBS标度多用于低离子强度(约0.1)溶液的测量, 进行海水测量时, 海水离子强度一般在0.7左右, 电极法测量时的液接电位差会严重影响结果的准确度。所以海水测量还存在其他三种pH标度: Harnsion提出的总氢离子浓度标度 (total scale, pH<sub>T</sub>)、游离氢离子浓度标度 (free scale, pH<sub>F</sub>)和Milliero和Dickson提出的海水氢离子浓度标度(seawater scale, pH<sub>sws</sub>)。pH<sub>T</sub>标度的出发点是保证标准缓冲液与待测液的离子强度相等, 并考虑海水中硫酸盐的解离, 测量时将三羟甲基氨基甲烷(Tris)配制在一系列盐度的人工海水中, 用电极法测量, 也可用光度法测量, 但是海水的Tris缓冲溶液配制非常复杂, 且难以储存。pH<sub>F</sub>标度忽略硫酸盐解离的影响, 只考虑游离氢离子浓度, 但实际能测到的是pH<sub>T</sub>, 需经由计算扣除硫酸盐两级解离的影响, 这中间的计算非常繁琐, pH<sub>F</sub>与pH<sub>T</sub>差约0.12 pH单位。pH<sub>sws</sub>标度是对pH<sub>T</sub>的修正和完善, 加上了海水中HF解离的影响, 由于硫酸盐浓度远远大于HF, 故pH<sub>sws</sub>与pH<sub>T</sub>差异很小。三者之间关系见式(1.3)、(1.4)。

$$\text{pH}_T = \text{pH}_F - \log(1 + [\text{SO}_4^{2-}] / K_{\text{HSO}_4}) \quad (1.3)$$

$$\text{pH}_{\text{sws}} = \text{pH}_F - \log\{1 + [\text{SO}_4^{2-}] / K_{\text{HSO}_4} + [\text{F}^-] / K_{\text{HF}}\} \quad (1.4)$$

### 1.1.2 常用pH电极

pH电极是一种电位型的电化学传感器, 目前正在使用的pH电极主要有氢电极和玻璃pH电极。

氢电极是一种氢离子电极, 以铂镀铂黑响应H<sup>+</sup>。氢电极的可逆性、稳定性和重现性是所有pH电极中最好的。它常用于pH基准测量和测量其它电极的标准电极电位。由于铂黑极易中毒, 如汞、氧、氰化物、硫化物等皆易使电极失去活性, 测量时还需要高纯氢(99.9999 %), 加之其结构的复杂性和对测试环境的苛刻要求, 均给实际应用带来极大的不便, 所以氢电极很少在实际测量中使用。

玻璃pH电极是目前实际应用最普遍的一种离子选择性电极, 常用的pH玻璃电极具有球泡状的敏感膜, 球泡内部盛有内参比溶液, 溶液为pH值与Cl<sup>-</sup>活度固定的缓冲溶液, 内参比电极为Ag/AgCl 或甘汞电极。玻璃pH电极操作简单, 结果准确, 受干扰因素少, 选择性高, 线性范围宽(pH 0~14)。但它还有许多不足之处如易破碎, 不耐高温高压, 电极内阻高, 响应速度慢, 不易耐承受强酸强碱



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库